

Лекция 4.

Затухание волн

- Вязкость среды и молекулярное затухание приводят к ослаблению звуковых волн, т.е. к затуханию. С ростом частоты f вязкость среды усиливает затухание.
- Для сухого воздуха затухание из-за вязкости среды определится как

$$N_B = 1,715 \cdot 10^7 \frac{f^2}{\rho C^2} \left[\frac{4}{3} \eta + (\nu - 1) \frac{\zeta}{C_p} \right]$$

где f – частота звука;

ρ – плотность воздуха;

C – скорость звука;

η - коэффициент вязкости;

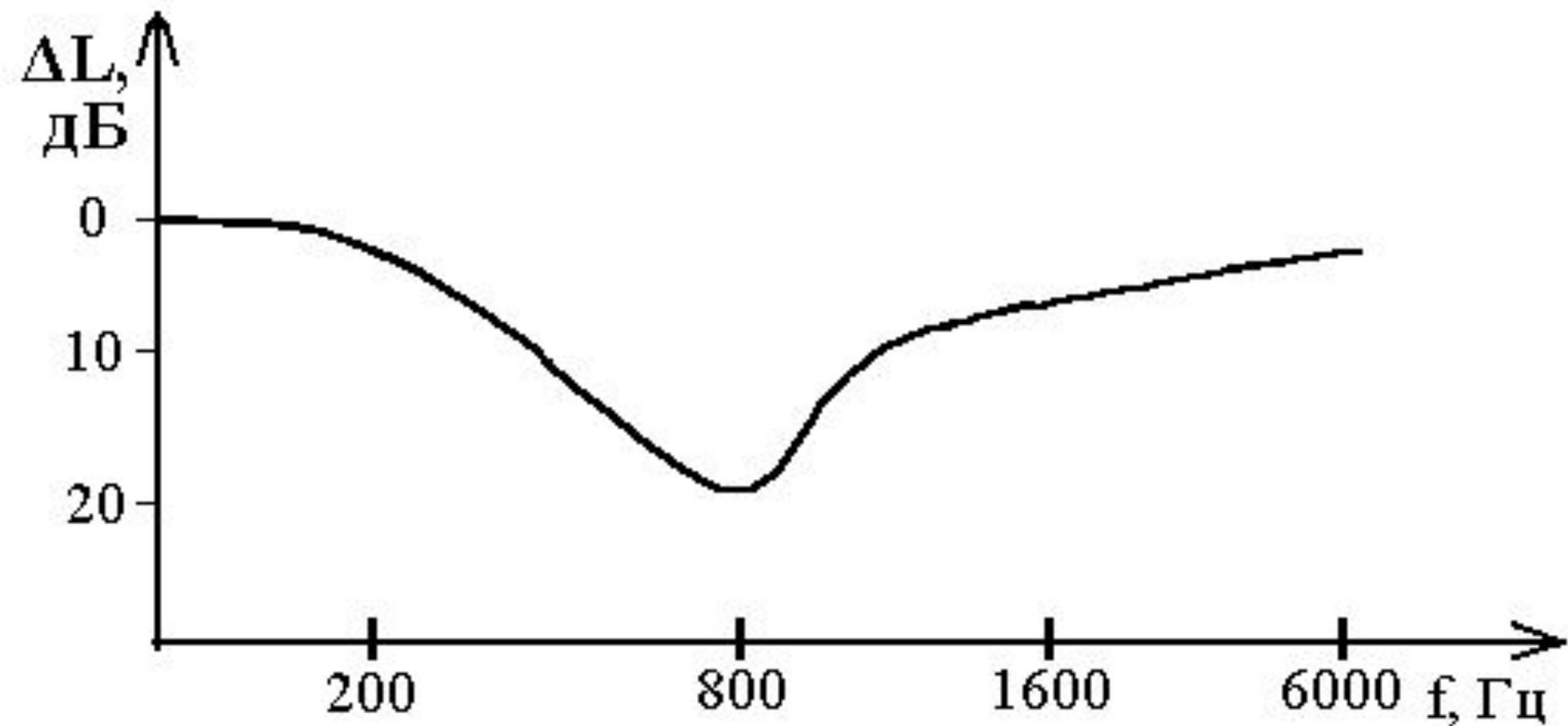
$\nu = C_p / C_v$ - коэффициент адиабаты
(отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме);

ζ – коэффициент теплопроводности.

- Молекулярное затухание N_M зависит от температуры, влажности, частоты.
- В справочниках по акустике имеются номограммы, позволяющие рассчитать молекулярное затухание. Например, при $t = 15^\circ\text{C}$, влажности 50%, частоте звука 3 кГц оно составит 4,3 дБ / км.
- Общее затухание определяется суммой затуханий $L = N_B + N_M$ и с учетом затухания из-за вязкости будет $N = 5,2$ дБ/км.

- **Затухание увеличивается при распространении вдоль поглощающей поверхности. С ростом коэффициента поглощения также растет и затухание.**
- **Например, при распространении звуковой волны касательно сидящей в зале публики звуковое давление уменьшается по квадратичному закону вместо гиперболического и при десятикратном изменении расстояния возникает дополнительное затухание, сильно зависящее от частоты**

Затухание звуковых волн разных частот в зрительном зале



Звуковая волна в трубах

- Объемное смещение – произведение смещения частиц среды на поперечное сечение трубы .
- Объемная скорость – произведение скорости колебаний среды на поперечное сечение трубы .

- Волновое сопротивление – отношение звукового давления p к объемной скорости Q в данном сечении трубы $Z_v = P / Q$.
- Волновое сопротивление связано с акустическим

$$Z_v = \rho a / S$$

- Полное сопротивление определяется соотношением

$$Z = \frac{F}{V} = \delta_a S = Z_B S^2,$$

где V – скорость колебаний.

- Если труба бесконечно длинная по сравнению с диаметром, то в ней образуется плоская волна.

- Для трубы конечных размеров следует учитывать отражение от конца и наличие обратной волны, то есть в трубе будет две встречных волны

$$P = P_+ e^{j\omega(t-x/t)} + P_- e^{j\omega(t+x/t)}$$

- Входное акустическое сопротивление трубы зависит от соотношения ее длины и длины звуковой волны.

- Для резонансных частот трубы, при которых $\ell = n \lambda / 2$ (где n – любое целое), входное акустическое сопротивление чисто активно и минимально.

Например: $\ell = 1$ м

- $n = 1$ $f_{1p} = c / 2 = 343 / 2 * 1 \approx 172$ Гц
- $n = 2$ $f_{2p} = n * c / 2 = 2 * 343 / 2 = 343$ Гц
- $n = 3$ $f_{3p} \approx 515$ Гц и так далее

- Частоты, для которых входное акустическое сопротивление чисто реактивное и максимально, называют антирезонансными.
- Для них связь ℓ и λ такая:
$$\ell = (2n - 1) \lambda / 4.$$
- Для воздуха входное акустическое сопротивление трубы имеет реактивный характер.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что делает наружное ухо слухового аппарата человека?
2. Что такое бинауральный эффект?
3. В чем состоит роль среднего уха человека?
4. Что делает внутреннее ухо человека?
5. Каков средний динамический диапазон слухового восприятия человека?

6. Что такое высота звука?
7. Что называют фонемой?
8. Что называют формантой?
9. Сколько формант в русской речи?
10. Как меняется скорость звука от плотности среды распространения?
11. Как отражается звуковая волна от границ раздела разных сред?
12. Что такое дифракция волн?
13. Что такое интерференция волн?